

# Uzay ve Yeryüzü Konuşlu Işıkkölçüm ve Tayfsal Gözlemlerle RV Tauri Türü DF Cyg'nin Doğası

Cenk Kayhan<sup>1</sup>  , Ahmet Dervişoğlu<sup>2</sup> , Timur Şahin<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> *Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Fen Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, 38030, Kayseri, Türkiye*

<sup>2</sup> *Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Fen Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, 25240, Erzurum, Türkiye*

<sup>3</sup> *Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Fen Fakültesi, Akdeniz Üniversitesi, 07058, Antalya, Türkiye*

Accepted: December 11, 2022. Revised: November 11, 2022. Received: November 5, 2022.

## Özet

DF Cyg, uzay ışıkölçüm ile uzun süreli gözlenen birkaç RV Tauri yıldızından biridir. Bu çalışma kapsamında DF Cyg'nin hala tam olarak anlaşılammış değişim doğası hem tayfsal hem de ışıkölçüm verileri yardımı ile araştırıldı. Yıldızın TESS ışıkölçüm gözlemleri ilk kez bu çalışma kapsamında analiz edildi. TESS ve *Kepler* verileri, yer tabanlı ışıkölçüm verileri ile birleştirilerek yıldızın, hem uzun dönemli (~770 gün) hem de ışık eğrisinde yer alan, birbirini takip eden, derin ve sığ minimumlarına sahip kısa dönemli (~50 gün) değişim doğası incelendi. DF Cyg'nin dönem analizi sonucunda 30'a yakın zonklama frekansı saptanarak ikinci bileşene ait bulgular fark edildi. Bunların yanı sıra DF Cyg için McDonald teleskobu ve Sandiford tayfçekeri ile elde edilen echelle tayflar, MCMC yöntemiyle yıldızın zonklama evresine bağlı model parametre ve dikine hız değerlerinin tespitinde kullanıldı.

## Abstract

DF Cyg is one of the few RV Tauri stars that has been observed for long periods with space photometry. In this study, we investigate the still poorly understood variation nature of DF Cyg using both spectroscopic and photometric observations. TESS photometric data of the star were analysed for the first time in this study. By combining TESS and *Kepler* data with ground-based photometric data, both the long-period (~770 days) and the short-period (~50 days) variation nature of the star, with alternating deep and shallow minima in the light curve, were analysed. As a result of the period analysis of DF Cyg, nearly 30 pulsation frequencies were detected and findings belonging to the second component were noticed. In addition, the echelle spectra obtained for DF Cyg with Sandiford Cassegrain echelle spectrograph and McDonald telescope were used to determine the model parameter and radial velocity values depending on the pulsation phase of the star using the MCMC method.

**Anahtar Kelimeler:** stars: variables: RV Tauri – stars: AGB and post-AGB – stars: individual: DF Cyg

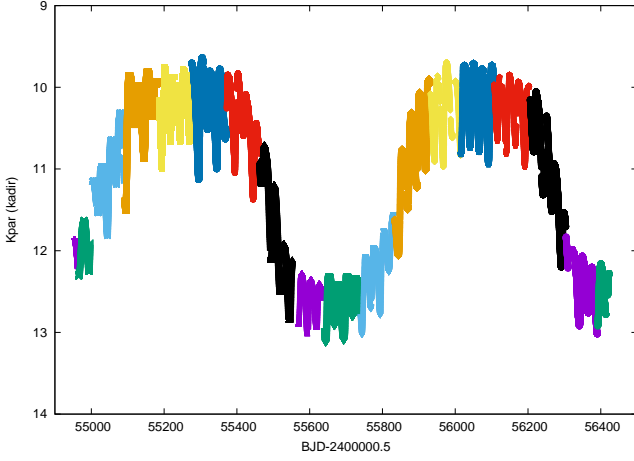
## 1 Giriş

RV Tauri türü yıldızlar evrimlerinin son aşamalarına gelen AGB ötesi süperdevlerdir (Jura 1986; Zsoldos 1998; Wallerstein 2002; Manick ve diğ. 2018). Çapsal doğrultuda zonklama sergileyen bu yıldızlar, en yüksek ışıtmalı grubu temsil eder. Uzun dönemlerinden dolayı Tür II Cepheid ( $P > 20$  gün) alt sınıfında yer alır (Preston ve diğ. 1963; Alcock ve diğ. 1998). RV Tau değişenlerinin iki alt türü vardır: 1) RVb yıldızları zonklamalarının en üstünde ortalama parlaklıkta uzun dönemli yüksek genlikli değişim gösterir. 2) RVa türü ise bu tür özellik göstermeyenlerdir (Gehrz 1972; Zsoldos 1991). Uzun dönemli değişimleri saymazsak RVb ve RVa yıldızlarının ışık eğrileri birbirine benzerdir. Bu farklılık bilinse de RVb türüne ait ikincil ışık değişiminin kaynağı henüz bilinmemektedir (Gezer ve diğ. 2015; Kiss & Bódi 2017). Fokin (1994) bu değişimin yıldızın zonklaması ya da herhangi bir ısıl kararsızlıktan meydana geldiğini önerir. Daha güncel çalışmalar ise RVb olayının çift olma durumundan ortaya çıktığını önerir (Manick ve diğ. 2017; Vega ve diğ. 2021). Burada ortalama parlaklığın dönemsel olarak değişimi yıldızın etrafını saran bir disk ya da bir bileşen tarafından örtülme sonucu meydana geldiği tartışılır (Van

Winckel ve diğ. 1999). Bileşenler arası etkileşimin de önerildiği çalışmalar da mevcuttur (Pollard ve diğ. 1996). RV Tauri türü değişenler aynı zamanda kaotik dinamik özelliklere sahiptir. Ancak bu olayların gözlemsel kanıtlarını bulmak genellikle zordur (Percy 2015). Ayrıca RV Tauri değişenlerin düşük ışıtmalı sergileyenler RGB evresinden henüz evrimleşmiş olurken yüksek ışıtmalıların ise AGB evresinden evrimleştiği post-AGB türleri olduğu da tartışılmaktadır (Giridhar 2020).

RV Tauri türü yıldızların, tayfsal ve ışıkölçüm verilerinin birlikte kullanılmasıyla bu yıldızların doğasının daha iyi anlaşılacağı düşünülmektedir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında tayf ve ışıkölçüm verisi açısından zengin bir RV Tauri türü olan DF Cyg yıldızı üzerine odaklanılmıştır. DF Cygni yıldızı, RVb sınıfında yer alan tayfsal enerji dağılımında geniş bir kırmızıöte artığı bulunan ve bu nedenle de durgun bir toz ile etrafı çevrelediği düşünülen bir sistemdir (Van Winckel 2018). DF Cygni, büyük genlikli zonklama gösteren bir yıldız olup 49.4 günlük bir birincil ve 775 günlük bir ikincil döneme sahiptir (Howard 1989). Bódi ve diğ. (2016), DF Cygni'ye ait 4 yıllık *Kepler* verisini inceleyerek birincil dönemi 49.85 gün, ikincil dönemi ise 779.606 gün olarak önceki çalışmalardan daha duyarlı olarak bulmuştur. Vega ve diğ. (2017) ise ikincil dönemin kaynağını araştırarak, uzun dönemin toz diskten veya çift yıldız kaynaklı olabileceğini önermiştir.

\* cenkkayhan@erciyes.edu.tr



**Şekil 1.** DF Cyg'nin *Kepler* ışık eğrisi. Buradaki her renk farklı bir çeyreği ifade etmektedir. Oldukça uzun dönemli veri sayesinde uzun dönemli ve kısa dönemli değişimler bir arada görülebilmektedir.

Manick ve diğ. (2019), DF Cygni'nin  $\sim 3000$  günlük bir zaman aralığında (Temmuz 2009-Mart 2018) HERMES tayfçekeri ile elde edilen yüksek çözünürlüklü ( $\sim 85000 \text{ \AA}$ ) tayflarını (83 tane) kullanarak tayfsal bir uzun dönem keşfetti. Bu tayfsal uzun dönem ışıkölçüm gözlemleri ile elde edilen oldukça uyumlu olup DF Cygni'nin çift sistem olduğu yönünde önemli bir gösterge niteliği taşımaktadır. Bu nedenle düşük ışıtmaya sahip DF Cygni'nin post-RGB bir çift olduğu Manick ve diğ. (2019) tarafından önerildi.

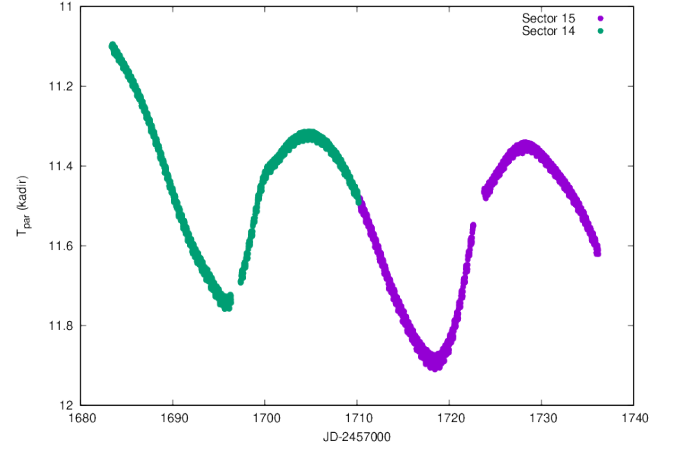
Yukarıdaki bulgular ışığında bu çalışmada DF Cyg'ye ait uzun ve kısa dönemli ışıkölçüm ve tayf verileri kullanarak yıldızın doğası ve yapısı üzerine bir araştırma yapıldı. Gözlem verileri ve bu verilerin analizi Ş2'de, elde edilen bulgular ise Ş3'de, sonuçlar ise Ş4'te sunulmaktadır.

## 2 Gözlem Verileri ve Analizi

### 2.1 Tayfsal Veriler ve Analizi

DF Cyg'nin tayf verileri McDonald Gözlemevi'nde 2.1 mlik Otto Struve Teleskobu ve yüksek çözünürlüklü ( $R \approx 55000$ ) Sandiford echelle tayf çekeri yardımıyla elde edildi. Kullanılan echelle tayfları son derece sınırlı bir dalgaboyu aralığında ( $4800\text{--}5600 \text{ \AA}$ ) olup yüksek bir tayfsal çözünürlük ve sinyal/gürültü oranına sahiptir. 2008 yılında DF Cygni için elde edilen tayflar; 16 Eylül'de bir adet, 18 Eylül'de bir adet, 19 Ekim'de bir adet ve 16 Kasım'da bir adet olmak üzere toplamda 4 adettir. Bu tayflardan ikisi DF Cygni'nin birincil yani zonklama dönemine denk gelmektedir. Diğer ikisi ise zonklama dönemi dışında kalmaktadır. Tayfların alındığı tarihler, zonklamaya göre evreleri ve dikine hız ölçümleri ( $\text{km s}^{-1}$ ) Çizelge 1'de sunulmaktadır.

Elde edilen tayflar IRAF kodu ile indirgendiikten sonra ispec kodu (Blanco-Cuaresma 2019) ile de temel parametrelerin elde edilmesi için MCMC yöntemi (Foreman-Mackey ve diğ. 2013) ile analiz edildi. Bu yöntem uygulanırken her bir tayf için 64 walker ile 200000 iterasyon yapıldı. Ayrıca zonklama evrelerine denk gelen tayflardaki çizgi bozulmalarının incelenmesi için tayf çizgilerindeki kaymalar kontrol edilerek her bir tayfın CCF ölçümleri (Allende Prieto 2007) yapıldı.



**Şekil 2.** DF Cyg'nin TESS ışık eğrisi. Yeşil renk Sektör 14, mor renk ise Sektör 15'i temsil etmektedir. Teleskoptaki aletsel etkilerden dolayı verinin bir kısmında kayıplar olmuş ve bunlar grafikte veri boşlukları biçiminde görünmektedir.

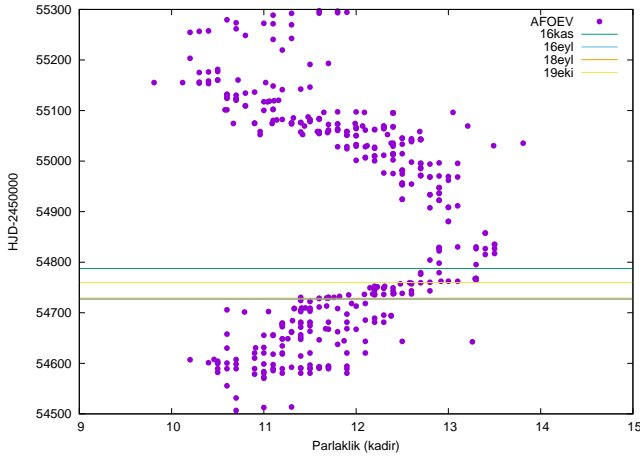
**Çizelge 1.** DF Cyg'ye ait McDonald Gözlemevi'nden alınan tayfların gözlem tarihi, zonklama evresi ve dikine hız değerleri sunulmaktadır. Zonklama evresi hesaplanırken minimum zamanı  $T_0=2454293.331$  (HJD) ve zonklama dönemi  $P_{\text{zonk}}=24.9$  gün alındı.

Tarih	Zonklama Evresi	Dikine hız ( $\text{km s}^{-1}$ )
16 Eylül 2008	0.3	-40.3
18 Eylül 2008	0.4	-38.0
19 Ekim 2008	0.7	-3.5
16 Kasım 2008	0.8	1.1

### 2.2 Işıkölçüm Verileri ve Analizi

DF Cygni'ye ait uzun ve kısa dönemli ışıkölçüm verileri yerkonuşlu ve uzaykonuşlu teleskoplarda yer almaktadır. Bu ışıkölçüm verilerinden AAVSO (Kafka 2020) ve AFOEV (Schweitzer & Vialle 1993) verileri en uzun döneme sahip olanlardır. Ancak bu veriler, veri setindeki diğer verilerden daha az duyarlı ( $0.5$  kadir) ışıkölçüm verileridir. AAVSO ve AFOEV verileri, sırasıyla, 1968-2022 ve 1927-2020 yılları arasında kapsamaktadır. Ancak bu veriler ayrıntılı incelendiğinde dönem boşlukları fark edilmiştir. Bu nedenle veriler bir yıllık, üç yıllık ve beş yıllık olarak veri gruplarına ayrılarak incelenmiştir. DF Cyg'ye ait yeryüzünden yapılan ışıkölçüm gözlem verileri SuperWASP, ASAS ve ASAS-SN veritabanlarında da yer almaktadır. Bunlar arasından DF Cygni'ye ait SuperWASP gözlemleri (Pollacco ve diğ. 2006) 2006-2007 yılları arasında 4400 veri noktasından oluşurken, ASAS (Pigulski ve diğ. 2009) 2006-2007 ve ASAS-SN (Pawlak ve diğ. 2019) 2015-2017 yıllarını içeren 4500 veri noktasına sahiptir.

DF Cygni (KIC 7466053), *Kepler*'in (Borucki ve diğ. 2004) gözlem bölgesinde yer alan nadir RV Tauri türü yıldızlardan biri olup, yıldızın *Kepler* verileri toplamda 17 çeyrek zaman dilimindedir. Şekil 1'de DF Cygni'ye ait *Kepler* ışık eğrisi gösterilmektedir. TESS teleskobu (Ricker ve diğ. 2014) ise DF Cygni'yi (TIC 272951532) Sektör 14 ve 15 alanlarında gözledi ve yaklaşık 60 günlük bir hızlı ışıkölçüm verisine sahiptir (Şekil 2).



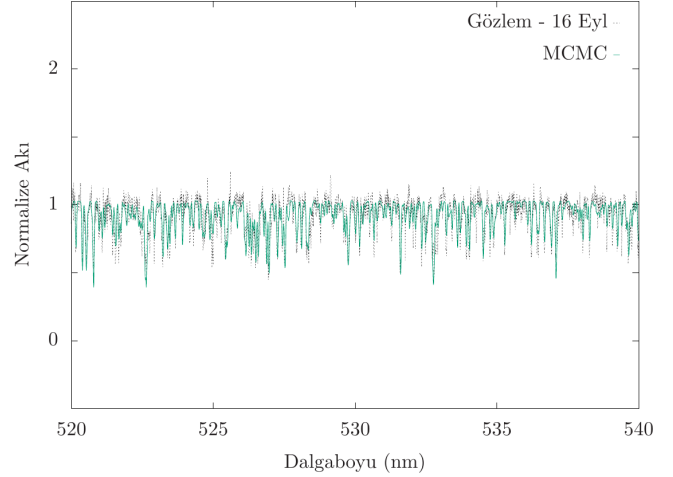
**Şekil 3.** DF Cyg'nin AFOEV ışık eğrisi üzerinde alınan McDonald tayflarının uzun ve kısa dönemli döneme göre kıyaslanması. Mor renkli noktalar AFOEV verilerini, yeşil, mavi, turuncu ve sarı çizgiler sırasıyla 16 Kasım, 16 Eylül, 18 Eylül ve 19 Ekim tarihlerinde alınan tayfları temsil etmektedir. Tayflar uzun dönem açısından sönümlenme evresine doğru giden bir evre aralığında alınmış olarak görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında *Kepler* ve TESS'ten alınan veriler iki ayrı grupta incelendi. *Kepler* verileri için öncelikle her bir "çeyrek" tek tek birbirinden bağımsız olarak  $\epsilon\text{-leanor}$  kodu (Feinstein ve diğ., 2019) kullanılarak ışıkölçüm indirilmesi yapıldı. Bu indirgeme aşamasında yıldız dışında kalan ardalın ışık katkıları ve yıldızla ilgili olmayan kozmik ışın ile uzay aracının yörünge kararsızlıklarından dolayı ortaya çıkan yan etkiler temizlendi. Ayrıca CCD üzerinde özel bir maske oluşturularak yıldızdan gelen akı doğrudan ölçüldü. Daha sonra her bir çeyrekte elde edilen değerlerin karşılaştırılması ve olası indirgeme hatalarının giderilmesi için birleştirilerek toplu bir biçimde incelendi. Tüm bunların sonucunda *Kepler* gözlemi sayesinde DF Cygni yıldızına ait yüksek duyarlılıklı (ppm düzeyinde) ve uzun dönemli ( $\sim 1500$  günlük) ışıkölçüm verisi elde edildi. Bu veri sayısal olarak 65000'den fazla veri noktası içerirken ortalama zaman çözünürlüğü  $\sim 30$  dk'dır. *Kepler* verisi ile yapılan çalışmaya benzer olarak daha kısa poz süreleri ve farklı dalgaboyunda yapılan Sektör 14 ve 15 TESS gözlemlerinin ışıkölçüm indirilmesi de yapıldı. *Kepler* indirgesinden farklı olarak TESS gözleminde yıldızın yakınında başka bir gök cisimi daha saptandığı için bu cisimden sızan ışık daha dar bir maske ile arındırıldı. DF Cyg'nin indirgeme sonucunda elde edilen TESS ışık eğrisi Şekil 2'de yer almaktadır. TESS'deki aletsel etkilerden dolayı verinin bir kısmında kayıplar vardır ve bunlar Şekil 2'de veri boşlukları biçiminde gözükmemektedir.

Işık eğrileri elde edildikten sonra DF Cygni'ye ait tüm ışıkölçüm verileri kendi içlerinde değerlendirilerek Lomb-Scargle yöntemi (Lomb 1976; Scargle 1982) ile dönem değişimi analiz edildi. İlk olarak literatürde sunulan zonklama dönemi ve uzun dönem bakımından dönem aralıkları arasında inceleme yapıldı.

### 3 Bulgular

Tayfsal analiz sonucunda her bir tayf sonucunda elde edilen tüm sonuçlar kendi içerisinde kıyaslanarak tayfsal parametreler arasındaki değişim ile zonklama dönemi arasındaki ilişki ortaya çıkarıldı. Şekil 3'de DF Cygni'ye ait AFOEV ışıkölçüm verisi ve

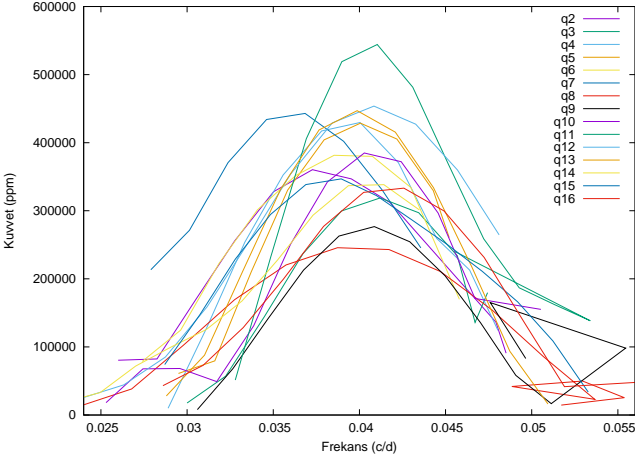


**Şekil 4.** DF Cyg'nin 16 Eylül 2008 tarihli gözlem (kesikli siyah çizgi) ve MCMC model (yeşil düz çizgi) tayfının 520-540 nm aralığı normalize akı biçiminde gösterilmektedir. Model tayfının gözlem tayfını iyi bir biçimde temsil ettiği şekilden rahatlıkla görülmektedir.

McDonald tayf verileri görülmektedir. Bu çalışma kapsamında uzun ve kısa dönemli ışık değişiminin tayfsal parametreler etkisi de incelendi. Tayfsal parametrelerin yanı sıra tayf çizgisindeki kaymalar da kontrol edildi. Her bir tayf için ayrı ayrı CCF ölçümü yapıldı. Elde edilen sonuçlara göre zonklama dönemi içerisinde kalan tayflarla zonklama evresi dışında olanlar arasında CCF eğrisinde ikili yapı şeklinde birtakım bozulmalar fark edildi. Bu bulgular sonucunda bu yapı, RV Tau türü yıldızlarda karşılaşılan ve zonklama ile üretilen "şok" yapısının kısa dönemli değişimle ilişki olduğu fark edildi. Aynı zamanda bu analiz sonucunda zonklama genliği ile "şok" yapısı arasında bir ilişkinin olabileceğine dair ön bulgular elde edildi. Söz konusu ilişkiye dair ön bulgular, Çizelge 1'de verilen ve zonklama evresine karşılık gelen tayfların incelenmesiyle ortaya çıkarıldı. Ancak yeterli tayf verisi olmadığından net bir bulgudan bahsetmek henüz olası değildir. DF Cygni'ye ait her bir tayf gözlemi MCMC yöntemiyle analiz edilerek yıldızın tayfsal parametreleri;  $T_{\text{eff}}=5220\pm 300$  K,  $\log g=2.01\pm 0.93$  dex,  $[M/H]=-0.37\pm 0.35$  dex bulundu. Şekil 4'de MCMC yöntemiyle analiz edilen 16 Eylül 2008 tarihli gözlem ve model tayfı bir arada çizilmiştir. Model tayfının gözlem tayfını iyi bir biçimde temsil ettiği şekilden rahatlıkla görülmektedir.

Işıkölçüm verilerinden analiz edilen *Kepler* verilerinin ayrıntılı Fourier dizileri ortaya çıkarılarak DF Cyg'nin zonklama dönemi 49.85 gün olarak belirlendi (Şekil 5). Temel zonklama döneminin birçok alt harmoniği ( $f/2, 2f, 3/2f, f/4, f/3, 3f, 5/4f, 4f, 5/2f, 7/2f, 5f$  ve  $6f$ ) de *Kepler* verilerinden bulunarak DF Cygni'nin zonklamasının doğrusal olmayan güçlü etkilerden kaynaklandığı görüldü. Şekil 5'de DF Cyg'nin *Kepler* verilerinden her bir çeyrek ( $Q2 - Q16$ ) için elde edilen temel frekanslar kuvvet tayfında gösterilmektedir. Ayrıca  $\sim 785$  günlük bir dönem *Kepler* verilerinde de bulundu (Şekil 1). Bu dönemin yıldızla ait yörünge dönemi olabileceğinden şüphelenildi. Aynı zamanda ortalama akıda belirgin bir düşmenin bu döneme eşlik ettiği de saptandı.

TESS verilerinden ise DF Cygni'ye ait toplamda 11 temel ve harmonik zonklama frekansı saptandı. Tüm bunların yanı



**Şekil 5.** DF Cyg'nin *Kepler* verilerinden herbir çeyrek (Q2-Q16) için elde edilen temel frekansın kuvvet tayfında gösterimi.

sıra sadece Sektör 15 gözleminde elde edilen kuvvet tayfında *Kepler* gözleminde farklı olarak 0.25, 4, 4.12, 4.53 ve 8 (c/d) frekansları yüksek genlikli olarak saptandı. Elde edilen frekanslardan 0.25 (c/d) olan sinyal/gürültü oranı diğerlerine göre 4 kat yüksek olduğundan kuvvet tayfından en büyük genlikli frekans ( $\nu_{\max}$ ) 46.5  $\mu\text{Hz}$  olarak ölçüldü. Ancak yeterli veri olmadığından frekanslar arasındaki büyük ayrıma ( $\Delta\nu$ ) belirlenemedi. Bu nedenle *Stello ve diğ. (2009)* türettiği  $\nu_{\max}$ - $\Delta\nu$  ilişkisi (Eş. 1) DF Cyg için kullanılarak 5.6  $\mu\text{Hz}$  olarak kuramsal bir  $\Delta\nu$  hesaplandı:

$$\Delta\nu = 0.3\nu_{\max}^{0.8}. \quad (1)$$

DF Cygni'ye ait yıldız sismolojisi yöntemi ile elde edilen sismik nicelikler ( $\nu_{\max}$  ve  $\Delta\nu$ ) yıldız sismolojisi ölçeklendirme ilişkisinde (*Ulrich 1986; Kjeldsen & Bedding 1995*) kullanılarak Eş. 2 ve 3 yardımıyla yıldızın ait sismik kütle  $M_{\text{sis}}$  ve sismik yarıçap  $R_{\text{sis}}$  hesaplandı.

$$\frac{M_{\text{sis}}}{M_{\odot}} = \left( \frac{\nu_{\max}}{\nu_{\max,\odot}} \right)^3 \left( \frac{\Delta\nu}{\Delta\nu_{\odot}} \right)^{-4} \left( \frac{T_{\text{eff}}}{T_{\text{eff},\odot}} \right)^{1.5}, \quad (2)$$

$$\frac{R_{\text{sis}}}{R_{\odot}} = \left( \frac{\nu_{\max}}{\nu_{\max,\odot}} \right) \left( \frac{\Delta\nu}{\Delta\nu_{\odot}} \right)^{-2} \left( \frac{T_{\text{eff}}}{T_{\text{eff},\odot}} \right)^{0.5}. \quad (3)$$

Ölçeklendirme ilişkisinde  $T_{\text{eff}}$  için *Yu ve diğ. (2018)*, Güneş değerleri için ise *Mosser ve diğ. (2013)* değerleri kullanıldı. Buradan  $M_{\text{sis}}$  ve  $R_{\text{sis}}$ , sırasıyla, 0.95  $M_{\odot}$  ve 8.30  $R_{\odot}$  olarak elde edildi.

Yeryüzünden yapılan ışıkölçüm verileri (AFOEV, AAVSO, SuperWASP ve ASAS ile ASAS-SN) incelendiğinde ise DF Cygni ile ilgili uzun dönem V süzgecinde 780.2 günlük bir dönem bulundu. Bunun yanı sıra temel mod ( $f=49.8$  gün) ve temel mod üzerine onun harmoniği olan ( $f/2$  ve  $2f$ ) alt dönemleri saptandı. Böylece bu çalışma kapsamında yeryüzü ve uzay ışıkölçüm verilerinin dönem analizi sonucunda DF Cygni'ye ait 30'a yakın zonklama frekansı belirlendi.

#### 4 Sonuç

Uzun dönemli gözlemler sayesinde (AFOEV: 93 yıl, AAVSO: 52 yıl, *Kepler*: 4 yıl, SuperWASP: 2 yıl, ASAS-SN: 2 yıl) RVb türü zonklayan süperdev DF Cygni'nin kaotik yapısına ait izler bu çalışma kapsamında araştırıldı. Çalışma

kapsamında yıldızın ışık eğrilerinin dönem analizi yöntemiyle yıldız zonklamasını sağlayan dinamiklerin niceliksel özelliklerine bakıldı. İkincil olarak uzun dönemli değişim yani RVb olayı gözlemlerden arındırılarak DF Cyg'ye ait zonklama davranışı araştırılarak temel mod ve onun harmonikleri türetildi. Bu çalışma kapsamında incelenen DF Cygni yıldızı RVb sınıfından olup yeryüzünden (AFOEV, AAVSO, SuperWASP ve ASAS ile ASAS-SN) ve uzaydan (*Kepler* ve TESS) yapılan gözlemlerle zonklama dönemi 49.85 gün, uzun dönemli değişimi ise 769.7 gün olarak belirlendi. Buna ek olarak DF Cyg, uzaydan devamlı gözlemi yapılan birkaç RV Tauri türü yıldızdan biridir. Bu uzun dönemli gözlem verileri kullanılarak yıldızın uzun dönemli minimum akıdaki değişiminin hem zonklama genliklerinde hem de ortalama parlaklıkta düşüşe neden olduğu fark edildi. Bu durumun disk örtülmesi ile güçlü bir ilişkisi olabileceği üzerinde duruldu ancak kesin karar vermek için daha fazla gözleme ihtiyaç olduğuna karar verildi.

Yıldız evriminin post-AGB evresinde bulunan RV Tauri türü yıldızların zonklama doğasının anlaşılması ancak günümüzde görev alan *Kepler* ve TESS gibi yüksek duyarlılıklı ışıkölçüm gözlemleri sayesinde gerçekleşmiştir. Işıkölçüm verilerinin sağladığı olanaklar yıldız sismolojisi yönteminin geliştirdiği kuramsal çalışmalarla birleştirildiğinde zonklama özelliklerinin saptanması ve sınıflandırılması bu çalışma ile mümkün oldu. Dönem analizi sonucunda TESS verilerinden elde edilen yıldız sismik nicelikleri kullanılarak  $M_{\text{sis}}$  ve  $R_{\text{sis}}$ , sırasıyla, 0.95  $M_{\odot}$  ve 8.30  $R_{\odot}$  olarak elde edildi. Bu değerlerin yoldaş yıldızın ait olabileceğinden şüphelenilmektedir. Bu durumda şüphesiz TESS Sektör 15 gözleminin 2-dakika durgu (*cadence*) ile yapılmasının etkisi büyüktür. Bu açıdan yıldızla ilgili ilk defa böyle bir duyarlılıkta bir gözlem ve analiz yapıldı.

DF Cygni'ye ait herbir tayf gözlemi MCMC yöntemiyle analiz edilerek yıldızın tayfsal parametreleri;  $T_{\text{eff}}=5220\pm 300$  K,  $\log g=2.01\pm 0.93$  dex,  $[M/H]=-0.37\pm 0.35$  dex bulundu. Aynı zamanda bu analiz sonucunda zonklama genliği ile "şok" yapısı arasında bir ilişkinin olabileceğine dair ön bulgular elde edildi. Söz konusu ilişkiye dair ön bulgular, Çizelge 1'de verilen ve zonklama evresine karşılık gelen tayfların incelenmesiyle ortaya çıkarıldı. Ancak yeterli tayf verisi olmadığından net bir bulgudan bahsetmek henüz olası değildir. Bunun için DF Cyg'nin daha fazla tayf gözlemine ihtiyaç vardır.

Uzun dönemli değişimin nedeni DF Cygni'nin çift olması ya da bir disk tarafından örtülmesi düşünüldüğünden yukarıda da söz edildiği üzere bu tür değişimlerin duyarlı bir biçimde saptanması ve analizi oldukça önemlidir. Eğer disk varsayımı doğruysa bu değişim, diskten kaynaklı sönümlenme meydana getirir. Bu durum DF Cygni'de gözlenmiştir. Diğer yandan uzun dönemli bir dönemin elde edilmesi ve yıldız sismolojisinden yoldaş bileşene dair bulgular çift olma durumuna işaret etmektedir. Bu tür değerlendirmelerin netleşmesi için oldukça uzun dönemli ışıkölçüm ve tayf verilerine ihtiyaç olduğu görülmektedir. Ancak şu an için elde edilen ışıkölçüm ve tayf verileri net bir karar vermek için henüz yeterli nitelikte ve nicelikte değildir.

#### Teşekkür

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından DOSAP MAP-2020-9749 proje numarası ile desteklenmiştir.

**Bilgilendirme**

Bu çalışmada kullanılan ışıkölçüm verilerinin tamamı erişime açık veridir. Çalışma kapsamında DF Cygni'ye ait *Kepler* ve TESS verileri Mikulski Archive for Space Telescopes (*MAST*) veritabanından; AAVSO, AFOEV, SuperWASP, ASAS ve ASAS-SN verileri de kendi veritabanlarında yer almaktadır. Tayf verileri ise açık veri olmayıp yazarlarla iletişime geçildiği ve gerekli görüldüğü takdirde başvuranlarla paylaşılacaktır.

**Kaynaklar**

- Alcock C., ve diğ., 1998, *AJ*, 115, 1921  
 Allende Prieto C., 2007, *AJ*, 134, 1843  
 Blanco-Cuaresma S., 2019, *MNRAS*, 486, 2075  
 Bódi A., Szatmáry K., Kiss L. L., 2016, *A&A*, 596, A24  
 Borucki W. J., Koch D. G., Basri G. S., Latham D. W., Howell S. B., 2004, in American Astronomical Society Meeting Abstracts. p. 33.05  
 Feinstein A. D., ve diğ., 2019, *PASP*, 131, 094502  
 Fokin A. B., 1994, *A&A*, 292, 133, *ADS*  
 Fokin A. B., 2001, in Takeuti M., Sasselov D. D., eds, *Astrophysics and Space Science Library Vol. 257, Astrophysics and Space Science Library*. pp 103–136, doi:10.1007/978-94-015-9698-5\_4  
 Foreman-Mackey D., Hogg D. W., Lang D., Goodman J., 2013, *PASP*, 125, 306  
 Gehrz R. D., 1972, *ApJ*, 178, 715  
 Gezer I., Van Winckel H., Bozkurt Z., De Smedt K., Kamath D., Hillen M., Manick R., 2015, *MNRAS*, 453, 133  
 Giridhar S., 2020, *Journal of Astrophysics and Astronomy*, 41, 44  
 Howard A. H., 1989, *JAAVSO*, 18, 148, *ADS*  
 Jura M., 1986, *ApJ*, 309, 732  
 Kafka S., 2020, in European Planetary Science Congress. pp EPSC2020–314, doi:10.5194/epsc2020-314  
 Kiss L. L., Bódi A., 2017, *A&A*, 608, A99  
 Kjeldsen H., Bedding T. R., 1995, *A&A*, 293, 87, *ADS*  
 Lomb N. R., 1976, *Ap&SS*, 39, 447  
 Manick R., Van Winckel H., Kamath D., Hillen M., Escorza A., 2017, *A&A*, 597, A129  
 Manick R., Van Winckel H., Kamath D., Sekaran S., Kolenberg K., 2018, *A&A*, 618, A21  
 Manick R., ve diğ., 2019, *A&A*, 628, A40  
 Mosser B., ve diğ., 2013, *A&A*, 559, A137  
 Pawlak M., ve diğ., 2019, *MNRAS*, 487, 5932  
 Percy J. R., 2015, *JAAVSO*, 43, 176, *ADS*  
 Pigulski A., Pojmański G., Pilecki B., Szczygieł D. M., 2009, *Acta Astron.*, 59, 33, *ADS*  
 Pollacco D. L., ve diğ., 2006, *PASP*, 118, 1407  
 Pollard K. R., Cottrell P. L., Kilmartin P. M., Gilmore A. C., 1996, *MNRAS*, 279, 949  
 Preston G. W., Krzeminski W., Smak J., Williams J. A., 1963, *ApJ*, 137, 401  
 Ricker G. R., ve diğ., 2014, in Oschmann Jacobus M. J., Clampin M., Fazio G. G., MacEwen H. A., eds, *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series Vol. 9143, Space Telescopes and Instrumentation 2014: Optical, Infrared, and Millimeter Wave*. p. 914320 (arXiv:1406.0151), doi:10.1117/12.2063489  
 Scargle J. D., 1982, *ApJ*, 263, 835  
 Schweitzer E., Vialle J., 1993, *Bulletin d'Information du Centre de Donnees Stellaires*, 43, 51, *ADS*  
 Stello D., Chaplin W. J., Basu S., Elsworth Y., Bedding T. R., 2009, *MNRAS*, 400, L80  
 Ulrich R. K., 1986, *ApJ*, 306, L37  
 Van Winckel H., 2018, preprint, (arXiv:1809.00871), *ADS*  
 Van Winckel H., Waelkens C., Fernie J. D., Waters L. B. F. M., 1999, *A&A*, 343, 202, *ADS*  
 Vega L. D., Stassun K. G., Montez Rodolfo J., Boyd P. T., Somers G., 2017, *ApJ*, 839, 48

- Vega L. D., ve diğ., 2021, *ApJ*, 909, 138  
 Wallerstein G., 2002, *PASP*, 114, 689  
 Yu J., Huber D., Bedding T. R., Stello D., Hon M., Murphy S. J., Khanna S., 2018, *ApJS*, 236, 42  
 Zsoldos E., 1991, *Information Bulletin on Variable Stars*, 3557, 1, *ADS*  
 Zsoldos E., 1998, *Acta Astron.*, 48, 775, *ADS*  
**Access:**  
 M23-0326: *Turkish J.A&A* — Vol.4, Issue 3.